

ANALISIS SENSITIVITAS EMISI GAS METANA (CH₄) PADA SAWAH DENGAN METODE KORELASI SPEARMAN'S RANK

*(Sensitivity Analysis of Methane Gas Emission in Paddy Fields
by Rank Spearman's Correlation Method)*

Khairul Azmi¹, dan Chusnul Arif^{1*}

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

* Penulis korespondensi: chusnulipb@gmail.com

Diterima: 27 Maret 2018

Disetujui: 30 April 2018

ABSTRACT

Global warming occurs due to increased concentrations of GHGs in Earth's atmosphere. CH₄ gas is one of the GHG which potentially 21 times greater to result global warming than CO₂. Emissions of CH₄ in rice fields affected by irrigation pattern and micro environmental factors. This research aimed to identify the relationship of micro-environmental factors to CH₄ emissions and analyse its sensitivity level. The sensitivity analysis of CH₄ gas in this study was done by rank Spearman's correlation method. The results showed that the irrigation pattern was positively correlated with CH₄ emissions. Total flux of CH₄ for the stagnant regime was $26.00 \pm 3.41 \times 10^3$ mg/m²/season, wet regime was $15.33 \pm 4.37 \times 10^3$ mg/m²/season, and dry regime was $11.80 \pm 6.72 \times 10^3$ mg/m²/season. The micro-environment parameters that was soil pH, soil moisture, soil electrical conductivity, and water level are positively correlated with flux of CH₄, meanwhile soil temperature and soil redox potential are negatively correlated with flux of CH₄. Based on the analysis, the most sensitive micro-environmental parameters for CH₄ gas emissions are soil moisture, with an average rs value is 0.51 and an average R² is 0.28.

Keywords: GHG, methane, sensitivity analysis, Spearman's correlation, SRI

PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu lingkungan hidup yang sangat diperhatikan oleh banyak negara saat ini (Lintangrino dan Boedisantoso 2016). Pemanasan global disebabkan oleh terjadinya peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer bumi (Purwanta 2009). Peningkatan konsentrasi GRK terjadi secara signifikan setelah revolusi industri (Ariani 2014). Emisi GRK tidak hanya dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil, tetapi juga dari lahan pertanian (Yulianto 2008). Lahan pertanian bahkan berperan sebagai penyumbang emisi GRK sebesar 20% dari total GRK dunia (Canadell *et al.* 2007). Salah satu GRK yang

menyebabkan pemanasan global adalah Metana (CH₄) (Setyanto 2004).

Gas CH₄ memiliki potensi besar mengakibatkan pemanasan global. Gas CH₄ mampu menyumbang sebesar 15% dari total GRK dan berpotensi 21 kali lebih besar mengakibatkan pemanasan global dibanding gas CO₂ (BLP 2011). Faktor antropogenik (aktivitas manusia), diketahui dapat menyumbangkan 70% emisi gas CH₄. Sementara itu, hanya 30% emisi gas CH₄ yang berasal dari sumber alami (Mudiyarso dan Husein 1994; Stern 2006). Ekosistem dengan kondisi anaerob yang dominan, terutama akibat penggenangan (contohnya sawah), merupakan sumber utama emisi gas CH₄

(Rudd dan Taylor 1980). Oleh karena itu, pertanian sawah sebagai faktor antropogenik berperan penting dalam proses produksi gas CH₄ (Li *et al.* 2005; Neue 1993).

Emisi gas CH₄ pada lahan pertanian dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis, varietas, dan umur tanaman (Setyanto *et al.* 2000; Wihardjaka 2004), mikroorganisme (bakteri metanogen), serta kondisi lingkungan biofisik (Nishimura *et al.* 2004). Menurut Arif *et al.* (2014), kondisi lingkungan biofisik yang mempengaruhi emisi gas CH₄ antara lain, kelembapan tanah, suhu tanah, daya hantar listrik (DHL) tanah, pH tanah, dan redoks potensial tanah. Karena faktor lingkungan biofisik merupakan parameter yang dapat

METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada bulan April s.d Agustus 2017. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Lapang Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan untuk penanaman padi, yang terletak pada 6° 35' 35.36" LS dan 106° 46' 17.95" BT. Pengujian emisi gas dilakukan di Laboratorium Gas Rumah Kaca Jakenan-Pati, Jawa Tengah. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air, Wisma Wageningen, Institut Pertanian Bogor.

Alat dan bahan yang digunakan pada analisis tanah antara lain: timbangan analisis, spatula, ORP meter, pH meter, dan termometer, gelas ukur 250 ml, erlenmeyer 250 ml, dan botol vial coklat 250 ml, serta bahan untuk keperluan kalibrasi pH meter (*buffer* pH 4.01, 6.86, 9.01, akuades). Alat-alat yang digunakan untuk mengambil sampel gas metana adalah *chamber* berukuran 30 cm x 30 cm x 120 cm disertai *chamber base* berukuran 30 cm x 30 cm x 20 cm, kipas kecil, baterai, termometer, klep karet, kantong *tedlar* 200 ml, botol vial coklat

dikendalikan, penelitian ini lebih difokuskan pada pengaruh kondisi lingkungan biofisik terhadap emisi gas CH₄.

Analisis sensitivitas emisi gas CH₄ merupakan proses rumit yang melibatkan banyak parameter. Penelitian ini membutuhkan data pengukuran emisi gas CH₄ yang sulit dilakukan, biaya mahal, dan membutuhkan waktu yang lama (Arif *et al.* 2014). Oleh karena itu, untuk memudahkan penelitian, perlu ditentukan metode yang tepat. Korelasi *Rank Spearman* merupakan metode yang digunakan dalam analisis pada penelitian ini. Metode korelasi *Rank Spearman* digunakan karena metode ini dapat digunakan untuk mengetahui hubungan dan pengaruh suatu *input* terhadap *output*.

10 ml dilengkapi dengan klep karet, cat kuku, *wrapping plastic*, alat suntik 10 ml dan 20 ml, selang plastik kecil, *ice box*, serta kran 3 arah.

Alat yang dibutuhkan sebagai lingkungan mikro sawah yaitu bak beton berisi tanah yang dilengkapi dengan sistem perpipaan irigasi dan drainase. Varietas padi yang digunakan pada penelitian ini adalah varietas padi IPB 3S. Kompos digunakan sebagai pupuk organik agar padi dapat tumbuh dengan baik. Selain kompos, tanaman juga diberi pupuk organik cair (POC) dalam masa tumbuhnya.

Alat yang dibutuhkan untuk mencatat data dan memonitor kondisi lingkungan mikro antara lain: *automatic weather station* (AWS), sensor tinggi muka air (*e-Tape*), dan sensor daya hantar listrik tanah. Data yang direkam oleh sensor disimpan dalam *data logger* EM50. Seperangkat komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* 2013 dan program *Analyse-it* digunakan untuk perhitungan dan analisis data.

Penelitian ini terdiri dari empat tahap utama. Tahap pertama adalah penanaman padi dengan perlakuan irigasi yang berbeda, yang meliputi rezim kering (K0), rezim basah (B0), dan rezim tergenang (T0). Setiap rezim dibuat dengan satu perulangan, yaitu perulangan rezim kering (K1), perulangan rezim basah (B1), dan perulangan rezim tergenang (T1).

Tahap kedua adalah pengambilan sampel gas Metana CH₄ dari lahan padi. Gas CH₄ yang dihasilkan oleh tanaman padi ditampung menggunakan kotak tertutup. Pengambilan gas CH₄ emisi dilakukan secara langsung dari *chamber* menggunakan alat suntik, kemudian diinjeksikan ke dalam botol vial coklat 10 ml yang telah divakum. Setelah gas diinjeksikan ke dalam botol vial, botol ditutup rapat dengan *wrapping plastic*.

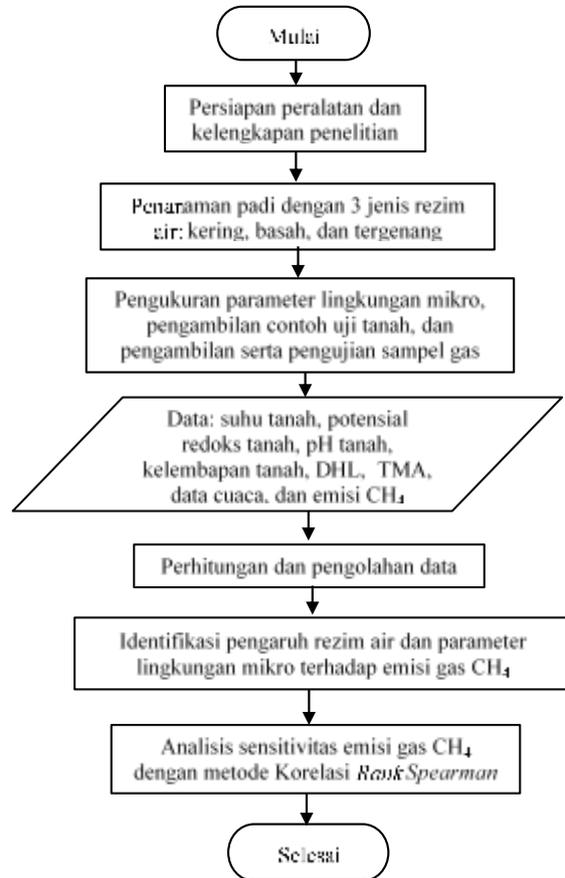
Tahap ketiga adalah pengujian sampel di laboratorium gas rumah kaca, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan), Jakenan, Pati. Sampel gas yang telah diperoleh sebelumnya di kirim ke Balingtan untuk diuji. Analisis gas menggunakan alat dan metode *Chromatography*.

Tahap keempat yaitu perhitungan emisi gas CH₄ berdasarkan data sampel uji yang telah diperoleh. Analisis perhitungan dilakukan dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan program *Analyse-it*. Analisis ini dilakukan dengan metode statistik korelasi *rank Spearman*. Metode ini dilakukan dengan menghitung koefisien *Spearman*. Setelah angka koefisien diperoleh, lalu dilakukan pemeringkatan menurut besaran nilai. Tingkat sensitivitas emisi gas CH₄ ditunjukkan oleh angka terbesar.

Penanaman Padi dengan Tiga Jenis Rezim Air

Penanaman padi dengan pengaturan rezim air pada penelitian ini mengacu pada penelitian oleh Sujono (2011). Pengaturan air tersebut terbagi menjadi 3,

yaitu rezim kering (RK), rezim basah (RB), dan rezim tergenang (RT). Ketiga rezim air tersebut akan ditempatkan pada bak tanah berbeda, sehingga diperkirakan emisi gas CH₄-nya juga berbeda.



Gambar 1 Bagan alir prosedur penelitian.

Pengambilan dan Pengujian Sampel Gas Metana (CH₄)

Pengambilan gas dilakukan setiap hari Sabtu. Sampel gas diambil satu kali dalam sehari, yaitu pada pukul 12.00 – 13.00. Sebelum pengambilan gas uji dilakukan, kipas diaktifkan dan *chamber* diletakkan pada *chamber base*. Melalui selang plastik kecil yang terhubung dengan kran 3 arah pada *chamber*, sampel gas metana diambil menggunakan alat suntik 10 ml. Pengambilan gas uji dilakukan sebanyak empat kali dari menit ke-0 hingga menit ke-30 dengan interval waktu 10 menit.

Sampel gas yang telah diambil pada alat suntik selanjutnya diinjeksikan ke dalam botol vial coklat 10 ml dengan bantuan jarum suntik. Setelah itu, tutup botol vial yang bekas terkena jarum suntik ditutup dengan cat kuku agar tidak bocor. Kemudian sampel dibungkus dengan *wrapping plastic*. Selanjutnya, sampel gas uji dimasukkan ke dalam *ice box* untuk disimpan. Sampel gas yang ada selanjutnya diuji di Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) di Jakenan, Pati, Jawa Tengah.

Pengolahan Data Parameter Lingkungan serta Emisi Gas Metana

Analisis dilakukan dengan menggunakan peralatan *Chromatography Gas* (CG) yang terkalibrasi. Laju perubahan konsentrasi gas per satuan waktu digunakan dalam penentuan besar fluks gas. Penentuan fluks gas metana dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1) (IAEA 1993).

$$E = \frac{\delta C}{\delta t} \times \frac{V_{ch}}{A_{ch}} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273.2}{273.2+T} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- E = Fluks CH₄ (mg/m²/menit)
- $\frac{\delta C}{\delta t}$ = Perbedaan konsentrasi CH₄ per waktu pengambilan (ppm/menit)
- V_{ch} = Volume *chamber* (m³)
- A_{ch} = Luas *chamber* (m²)
- mW = Berat molekul CH₄ (g)
- mV = Volume molekul CH₄ (22.41 liter pada suhu dan tekanan standar)
- T = Temperatur selama *sampling* (°C)

Arif *et al.* (2015) menjelaskan bahwa apabila nilai fluks gas CH₄ bernilai positif, maka lahan padi sawah mengemisikan gas CH₄. Apabila kondisi yang terjadi sebaliknya, maka terjadi absorpsi/penyerapan gas CH₄. Berdasarkan nilai fluks gas CH₄ dapat

diketahui bahwa kondisi lahan mengemisikan gas CH₄ atau mengabsorpsi gas CH₄. Selanjutnya, total fluks dihitung dengan metode *Numeric Simpson* dengan menggunakan Persamaan (2) (Arif 2013).

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{b-a}{6} \left[f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- a = Waktu awal periode budidaya padi
- b = Waktu akhir periode budidaya padi

Analisis Sensitivitas Emisi CH₄ dengan Metode Korelasi Rank Spearman

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah melakukan analisis sensitivitas emisi gas CH₄ dengan metode korelasi *rank Spearman*. Analisis dilakukan dengan mencari koefisien *Spearman* berdasarkan parameter kondisi lingkungan mikro yang ada. Perhitungan dan penentuan koefisien *Spearman* dilakukan dengan menggunakan program *Analyse-it* pada *Microsoft Excel*. Perhitungan dilakukan *Spearman* yang ditunjukkan oleh Persamaan (3) (Puspitaningdyah 2012).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum (R(x_i) - R(y_i))^2}{n(n^2 - 1)} \dots\dots\dots$$

Keterangan:

- r_s = Koefisien *Spearman*.
- R (xi) = Peringkat data xi
- R (yi) = Peringkat data yi

Setelah koefisien *Spearman* diperoleh dari hasil perhitungan korelasi antara parameter lingkungan mikro dan fluks gas CH₄, selanjutnya dilakukan pemerinkatan. Berdasarkan pemerinkatan tersebut dapat diketahui parameter lingkungan mikro yang memiliki korelasi terbesar terhadap emisi gas CH₄. Selain itu, juga dilakukan perbandingan nilai rs dengan nilai R².

Perbandingan ini bertujuan untuk menentukan hubungan nilai rs dengan nilai R².

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluks Gas CH₄

Fluks atau laju perubahan gas CH₄ menggambarkan besarnya emisi CH₄ yang dihasilkan oleh sawah padi. Terdapat perbedaan nilai fluks gas CH₄ yang dihasilkan dalam satu periode masa tanam yang disebabkan oleh pola pengairan. Pola pengairan tersebut berupa perlakuan pemberian air untuk sawah

padi. Pola pengairan dalam penelitian ini meliputi 3 jenis rezim air, yaitu rezim tergenang, rezim basah, dan rezim kering. Perbedaan ketiga rezim air tersebut terdapat pada pengondisian tinggi muka air menurut waktu tanam. Selain terjadi akibat perlakuan pola pengairan, perbedaan besarnya emisi gas CH₄ juga terjadi akibat perbedaan fase pertumbuhan tanaman dan kondisi lingkungan mikro lahan. Nilai fluks gas CH₄ untuk setiap rezim air berdasarkan fase pertumbuhan padi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Fluks gas CH₄ dalam fase pertumbuhan padi.

Fase Pertumbuhan Padi	Umur (MST)	Flux gas CH ₄ (mg/m ² /musim) (x 10 ³)		
		RT	RB	RK
Vegetatif	0-6	23.10 (±3.41)	13.53 (± 1.96)	12.81 (± 8.45)
Reproduktif	7-11	2.39 (± 2.04)	0.68 (± 0.37)	0.98 (± 1.44)
Pematangan	12-15	0.51 (± 1.06)	1.12 (± 2.04)	-1.99 (± 0.28)
Total fluks gas CH ₄		26.00 (± 3.41)	15.33 (4.37)	11.80 (± 6.72)

Penelitian ini dilakukan dengan 2 perulangan. Data pada Tabel 1 merupakan rata-rata dari kedua perulangan tersebut. Sementara itu, nilai ± pada data merupakan standar deviasi. Standar deviasi ini menunjukkan sebaran data dan tingkat keberagamannya. Semakin besar nilai standar deviasi, semakin lebar rentang variasi data dari rata-rata. Sebaliknya, semakin kecil nilai standar deviasi, akan semakin sempit rentang variasi data dari rata-ratanya.

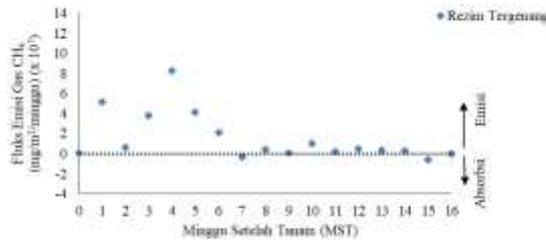
Tabel 1 menunjukkan bahwa fase vegetatif memiliki fluks gas CH₄ tertinggi dibanding fase lainnya. Fluks gas CH₄ tertinggi dimiliki oleh rezim tergenang, yaitu sebesar 23.10 ± 3.41 x 10³ mg/m²/musim. Sementara itu, fluks gas CH₄ terendah adalah rezim kering sebesar 12.81 ± 8.45 x 10³ mg/m²/musim. Memasuki fase reproduktif, terjadi penurunan emisi gas CH₄. Rezim kering bahkan tidak mengemisikan gas CH₄, sebaliknya terjadi absorpsi. Hal ini

dibuktikan dengan fluks yang bernilai negatif, yaitu -1.99 ± 0.28 x 10³ mg/m²/musim.

Berdasarkan Tabel 1, juga dapat diketahui bahwa total emisi gas CH₄ terbesar dihasilkan oleh rezim tergenang, yaitu sebesar 26.00 x 10³ mg/m²/musim. Setelah rezim tergenang, pengemis gas CH₄ terbesar urutan kedua adalah rezim basah yaitu sebesar 15.33 ± 4.73 x 10³ mg/m²/musim. Sementara itu, pengemis gas CH₄ terkecil adalah rezim kering yaitu sebesar 11.80 ± 6.72 x 10³ mg/m²/musim. Hasil penelitian ini sesuai dengan referensi, bahwa kondisi tergenang mendukung kehidupan aerobik yang mengakibatkan aktifnya bakteri metanogen.

Selama fase pertumbuhan padi, gas CH₄ yang diemisikan terus mengalami perubahan. Hal ini ditandai dengan nilai fluks CH₄ yang berfluktuatif. Perubahan emisi gas CH₄ dalam satu periode masa

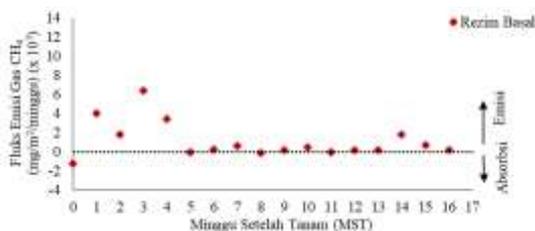
tanam untuk rezim tergenang disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Fluks gas CH₄ rezim tergenang selama satu musim tanam.

Fluks gas CH₄ pada lahan tergenang memiliki puncak pada minggu ke-4 setelah penanaman. Minggu ke-0 sampai minggu ke-5 merupakan masa pertumbuhan vegetatif padi. Fluks gas CH₄ untuk rezim tergenang pada minggu ke-4 mencapai 8.29×10^3 mg/m²/minggu. Sehubungan dengan tingginya konsentrasi gas CH₄ pada minggu ke-4 tersebut, dapat diketahui bahwa fase tersebut merupakan saat pertumbuhan padi secara vegetatif berada pada puncaknya. Fluktuasi fluks gas CH₄ secara signifikan terlihat di minggu-minggu awal, yaitu sekitar minggu ke-0 s.d minggu ke-6. Setelah memasuki minggu ke-7 (fase reproduktif), fluks gas CH₄ menjadi relatif lebih stabil hingga masa panen pada minggu ke-16.

Hal yang sama juga ditunjukkan oleh fluks gas CH₄ pada rezim basah. Emisi gas CH₄ relatif lebih tinggi di minggu-minggu awal. Selengkapnya fluktuasi nilai fluks gas CH₄ pada rezim basah disajikan dalam Gambar 3.

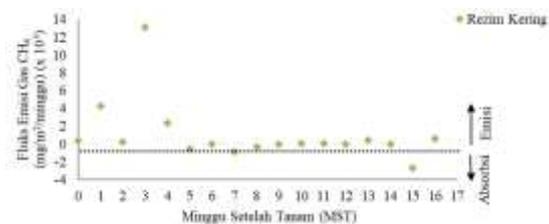


Gambar 3 Fluks gas CH₄ rezim basah selama satu musim tanam.

Fluks gas CH₄ untuk rezim basah memiliki nilai tertinggi pada minggu ke-3

dengan nilai 6.31×10^3 mg/m²/minggu. Sama seperti rezim tergenang, pada rezim basah di minggu-minggu awal juga merupakan fase pertumbuhan padi secara vegetatif. Selanjutnya, memasuki minggu ke-5 setelah penanaman, fluks gas CH₄ mengalami penurunan dan cenderung lebih stabil hingga masa panen. Beberapa kali terjadi absorpsi gas CH₄ setelah minggu ke-4. Bahkan, pada minggu ke-8 rezim basah terjadi absorpsi yang cukup besar, yaitu sebesar -0.20×10^3 mg/m²/minggu.

Gas CH₄ juga dihasilkan dari budidaya padi dengan rezim kering. Meskipun emisi yang dihasilkan lebih kecil dibanding rezim tergenang dan rezim basah, budidaya padi dengan rezim kering tetap menghasilkan emisi gas CH₄. Pola dari emisi gas CH₄ yang dihasilkan juga mirip seperti pada rezim tergenang dan rezim basah. Fluktuasi fluks gas CH₄ lebih jelasnya disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4 Fluks gas CH₄ rezim kering selama satu musim tanam.

Gambar 4 menunjukkan bahwa fluktuasi fluks gas CH₄ secara signifikan terjadi pada masa vegetatif pertumbuhan padi, yaitu sekitar minggu ke-0 hingga akhir minggu ke-5. Emisi gas tertinggi untuk rezim kering terdapat pada minggu ke-3 dengan fluks 13.14×10^3 mg/m²/minggu. Emisi gas CH₄ pada rezim kering mengalami penurunan setelah memasuki minggu ke-5 setelah penanaman. Jumlah gas yang diemisikan menjadi lebih stabil setelah pertumbuhan padi memasuki fase reproduktif. Setelah mendekati masa panen (13-16 MST),

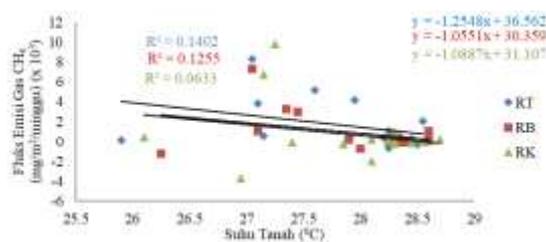
fluktuasi fluks gas CH₄ tidak terlalu signifikan.

Berdasarkan Gambar 2, 3, dan 4, dapat diketahui bahwa emisi gas CH₄ dipengaruhi oleh perlakuan pola pengairan. Semakin tergenang suatu lahan, emisi CH₄ yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tergenang lahan, akan semakin besar proses anaerob terjadi di dalamnya. Proses anaerob tersebut mengakibatkan diemisikannya gas CH₄ menjadi lebih banyak.

Hubungan Lingkungan Mikro dengan Fluks Gas CH₄

Suhu Tanah

Hubungan antara suhu tanah dan fluks gas dilihat berdasarkan besarnya nilai fluks dan level suhu tanah. Berdasarkan hubungan tersebut dapat dilihat kecenderungan *trendline* yang dilihat dari arah kemiringan garis. Jika kemiringan garis ke arah kanan, terdapat hubungan yang positif. Sebaliknya, jika kemiringan garis ke arah kiri, terdapat hubungan yang negatif. Hubungan suhu tanah dengan fluks gas CH₄ disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan suhu tanah dengan fluks gas CH₄.

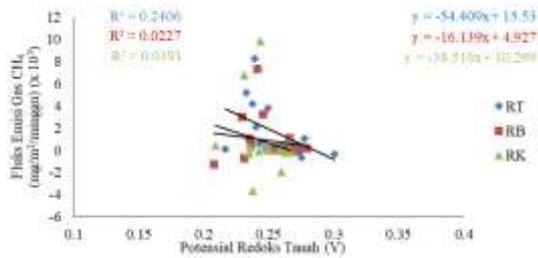
Gambar 5 menunjukkan bahwa suhu tanah dan fluks gas CH₄ memiliki hubungan yang negatif. Hubungan yang berbanding terbalik ini ditandai dengan kemiringan garis ke arah kiri. Semakin tinggi suhu tanah, jumlah gas CH₄ yang diemisikan akan semakin sedikit. Hasil

ini tidak sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arif *et al.* (2014), bahwa emisi gas CH₄ berbanding lurus dengan suhu tanah. Berdasarkan nilai R² setiap rezim air pada Gambar 6, diketahui bahwa hubungan suhu tanah dengan emisi gas CH₄ sangat kecil. Menurut Arif *et al.* (2015), nilai R² < 0.33 mengindikasikan hubungan parameter suhu tanah tidak linier dengan emisi gas CH₄. Dengan demikian, pengaruh suhu tidak terlalu kuat bagi emisi gas CH₄.

Potensial Reduksi-oksidasi (Redoks)

Potensial reduksi merupakan parameter lingkungan mikro yang menggambarkan ketersediaan oksigen (O₂) di dalam tanah. Ketersediaan oksigen dalam tanah berhubungan erat dengan reaksi reduksi-oksidasi dalam tanah. Potensial redoks juga berkaitan erat dengan pola penggenangan, karena penggenangan dapat menurunkan konsentrasi O₂ dalam tanah. Semakin aerob kondisi tanah, akan semakin tinggi nilai potensial redoksnya. Kenaikan nilai potensial redoks ini disebabkan oleh proses drainase, sesuai dengan pola rezim air. Tanah aerob memiliki nilai potensial redoks 0.3V hingga 0.8 V, sedangkan tanah anaerob memiliki nilai potensial redoks < 0.3 V (Ifansyah 2011).

Penelitian yang dilakukan oleh Arif *et al.* (2014), menunjukkan bahwa potensial redoks tanah dengan fluks gas CH₄ memiliki hubungan negatif. Semakin tinggi potensial redoks, akan semakin rendah emisi gas CH₄ yang dihasilkan. Hubungan antara potensial redoks dan fluks gas CH₄ disajikan dalam Gambar 6.

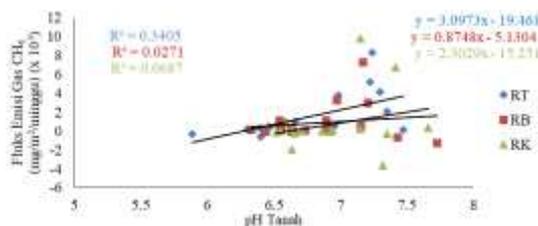


Gambar 6 Hubungan potensial redoks tanah dengan fluks gas CH₄.

Mengacu pada Gambar 6, dapat diketahui bahwa hubungan antara potensial redoks tanah dan fluks gas CH₄ berbanding terbalik. Hal ini mengindikasikan bahwa potensial redoks tanah yang tinggi akan membuat emisi gas CH₄ menurun. Meski demikian, potensial redoks tidak berpengaruh nyata terhadap emisi gas CH₄. Hal ini ditandai dengan nilai R² yang kecil, yaitu 0.24 pada rezim tergenang.

Derajat Keasaman (pH)

Penelitian yang dilakukan oleh Munarso (2016) menyatakan bahwa rezim air dapat mempengaruhi nilai pH tanah. Kadar air tanah yang semakin kecil mengakibatkan pH menurun, sehingga sifatnya lebih asam. sementara itu, fluks gas CH₄ menurun pada saat kadar air tanah berkurang. Hal ini mengindikasikan terdapat hubungan positif pH tanah dengan emisi gas CH₄. Hubungan antara pH tanah dan fluks gas CH₄ dari penelitian ini disajikan dalam Gambar 7.



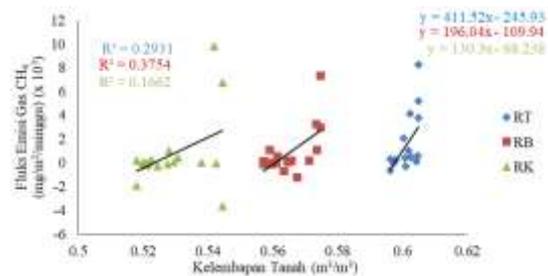
Gambar 7 Hubungan pH tanah dengan fluks gas CH₄.

Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa hubungan antara fluks gas CH₄

dengan pH tanah secara umum berbanding lurus. Menurut Setyanto dan Kartikawati (2008), pH tanah berbanding lurus dengan emisi gas CH₄. Nilai pH akan cenderung naik apabila lahan berada pada kondisi kering. Kondisi tanah yang kering akan menyebabkan tanah bersifat aerob sehingga aktivitas metanogen juga menurun dan emisi juga turun. Hasil penelitian ini sesuai dengan referensi tersebut. Nilai R² sebesar 0.24 pada rezim tergenang menunjukkan bahwa pengaruh pH tanah terhadap emisi gas CH₄ mulai tampak. Sementara itu, pada rezim basah dan rezim kering pH tidak memiliki pengaruh nyata terhadap emisi gas CH₄. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat hubungan erat antara pH tanah dengan emisi gas CH₄.

Kelembapan Tanah

Penelitian Arif *et al.* (2015) menunjukkan bahwa kelembapan tanah berkorelasi positif dengan emisi gas CH₄. Semakin tinggi kadar air tanah, maka emisi gas CH₄ akan meningkat. Hubungan kelembapan tanah terhadap fluks gas CH₄ disajikan dalam Gambar 8.



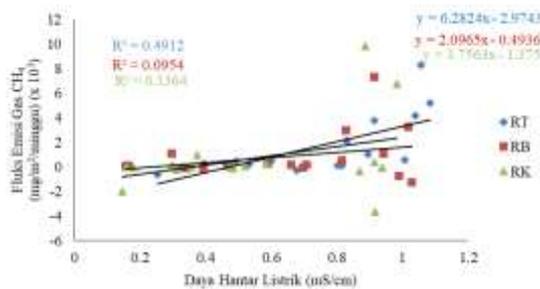
Gambar 8 Hubungan kelembapan tanah dengan fluks gas CH₄.

Mengacu pada Gambar 8, dapat diketahui bahwa kelembapan tanah berkorelasi positif dengan fluks gas CH₄. Artinya, semakin tinggi kelembapan tanah, akan semakin tinggi juga emisi gas CH₄ yang dihasilkan. Hal ini ditandai dengan kemiringan garis ke arah kanan

pada semua rezim air. Hasil penelitian ini sesuai dengan referensi yang ada. Kelembapan tanah dalam kegiatan penelitian ini berkisar antara 0.568 – 0.634 m³/m³ untuk rezim tergenang, 0.529 – 0.561 m³/m³ untuk rezim basah, dan 0.507 – 0.553 m³/m³ untuk rezim kering. Nilai R² pada rezim basah cukup besar untuk dapat dikatakan bahwa kelembapan tanah berpengaruh terhadap emisi gas CH₄.

Daya Hantar Listrik Tanah (DHL)

Menurut Arif *et.al* (2015), DHL memiliki hubungan positif dengan fluks gas CH₄. Semakin tinggi nilai DHL, jumlah gas CH₄ yang diemisikan akan semakin tinggi pula. Hubungan antara DHL dan fluks gas CH₄ disajikan dalam Gambar 9.

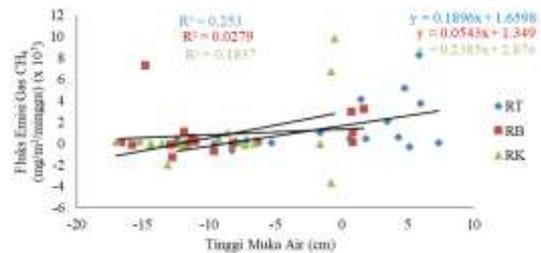


Gambar 9 Hubungan daya hantar listrik tanah dengan fluks gas CH₄.

Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui bahwa DHL berbanding lurus dengan fluks gas CH₄. Hal ini ditunjukkan oleh kemiringan garis ke arah kanan. Hubungan positif ini sesuai dengan referensi yang menyatakan bahwa DHL berbanding lurus dengan fluks gas CH₄. Nilai R² sebesar 0.49 pada rezim tergenang mengindikasikan bahwa penggenangan berpengaruh terhadap DHL, sementara DHL juga berpengaruh terhadap emisi gas CH₄.

Tinggi Muka Air

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Munarso (2016), TMA memiliki hubungan positif dengan emisi gas CH₄. TMA berkaitan erat dengan jenis rezim air pada sawah padi. Semakin tinggi genangan air, emisi gas CH₄ juga akan semakin tinggi. Hubungan perubahan TMA terhadap fluks gas CH₄ disajikan dalam Gambar 10.



Gambar 105 Hubungan tinggi muka air dengan fluks gas CH₄.

Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara TMA dan fluks gas CH₄. Artinya, semakin tinggi muka air, akan semakin tinggi pula emisi gas CH₄ yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan referensi, bahwa TMA yang semakin tinggi akan mendukung kehidupan anaerob dan memacu produksi gas CH₄ oleh organisme pada lahan. Selain itu, air tergenang yang menutupi lahan dapat menghambat proses aerasi, sehingga menghambat kehidupan aerobik. Sementara itu, nilai R² < 0.33 menunjukkan bahwa pengaruh TMA terhadap emisi gas CH₄ masih sangat kecil.

Analisis Sensitivitas Emisi Gas CH₄

Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data penelitian selama satu musim tanam. Analisis sensitivitas emisi gas CH₄ dilakukan dengan menghitung nilai koefisien Spearman (rs). Berdasarkan nilai koefisien tersebut, dilakukan pemeringkatan untuk

memperoleh nilai terbesar. Hasil perhitungan koefisien *Spearman* menurut parameter lingkungan mikro terhadap fluks gas CH₄ disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan Koefisien *Spearman*

Parameter terhadap fluks gas CH ₄	RT		RB		RK	
	rs (+/-)	Makna	rs (+/-)	Makna	rs (+/-)	Makna
Suhu Tanah	0.46	S	0.14	SL	0.07	SL
Potensial Redoks Tanah	0.53	S	0.11	SL	0.19	SL
pH Tanah	0.63	K	0.10	SL	0.20	L
Kelembapan Tanah	0.62	K	0.61	K	0.30	L
Daya Hantar Listrik	0.80	SK	0.18	SL	0.19	SL
Tinggi Muka Air	0.46	S	0.41	S	0.13	SL

Keterangan:

SL: Sangat Lemah; L : Lemah; S: Sedang; K: Kuat; SK: Sangat Kuat

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa parameter lingkungan mikro yang memiliki hubungan terkuat dengan fluks gas CH₄ pada rezim tergenang adalah DHL tanah. Sementara itu, parameter lingkungan mikro yang memiliki hubungan terkuat dengan fluks gas CH₄ pada rezim basah dan kering adalah kelembapan tanah. Hasil

perhitungan koefisien *Spearman* dapat dibandingkan dengan nilai R² untuk melihat besar hubungan dan besar pengaruh parameter tertentu terhadap emisi gas CH₄. Perbandingan koefisien *Spearman* dan nilai R² masing-masing parameter lingkungan mikro disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan koefisien *Spearman* dengan nilai R².

Parameter terhadap fluks gas CH ₄	RT		RB		RK	
	rs (+/-)	R ²	rs (+/-)	R ²	rs (+/-)	R ²
Suhu Tanah	0.46	0.14	0.14	0.13	0.07	0.06
Potensial Redoks Tanah	0.53	0.24	0.11	0.02	0.19	0.03
pH Tanah	0.63	0.34	0.10	0.02	0.20	0.07
Kelembapan Tanah	0.62	0.29	0.61	0.38	0.30	0.17
Daya Hantar Listrik	0.80	0.49	0.18	0.10	0.19	0.13
Tinggi Muka Air	0.46	0.25	0.41	0.03	0.13	0.18

Tabel 3 secara umum menggambarkan bahwa koefisien *Spearman* maupun nilai R² itu setara. Apabila nilai koefisien *Spearman* besar, nilai R² juga besar. Demikian juga sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kuat hubungan suatu parameter lingkungan mikro terhadap emisi gas CH₄, maka pengaruh parameter tersebut juga semakin besar. Berdasarkan data pada Tabel 4 juga dapat diketahui

bahwa rezim air tergenang merupakan pengemisi gas CH₄ terbanyak dibanding rezim basah dan rezim kering. Sementara itu, untuk menentukan parameter yang memiliki hubungan paling kuat dan pengaruh paling besar, nilai rs dan R² dirata-ratakan sesuai data pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai rata-rata rs dan R².

Parameter terhadap fluks gas CH ₄	Analisis	
	rs (+/-)	R ²
Suhu Tanah	0.23	0.11
Potensial Redoks Tanah	0.28	0.10
pH Tanah	0.31	0.14
Kelembapan Tanah	0.51	0.28
Daya Hantar Listrik	0.39	0.24
Tinggi Muka Air	0.33	0.15

Mengacu pada Tabel 4, diketahui bahwa parameter lingkungan mikro yang memiliki hubungan terkuat dan pengaruh terbesar terhadap emisi gas CH₄ adalah kelembapan tanah. Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai rs rata-rata sebesar 0.51 dan R² rata-rata sebesar 0.28. nilai rata-rata rs dan R² tersebut merupakan nilai tertinggi dibanding yang lainnya. Dengan demikian, emisi gas CH₄ sangat sensitif dan sangat dipengaruhi oleh kelembapan tanah.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Pola pengaturan air berkorelasi positif dengan fluks gas CH₄. Semakin banyak air yang diberikan, semakin banyak pula gas CH₄ yang diemisikan. Rezim tergenang memiliki total fluks gas CH₄ sebesar $26.00 \pm 3.41 \times 10^3$ mg/m²/musim. Sementara itu, rezim basah memiliki total fluks gas CH₄ sebesar $15.33 \pm 4.37 \times 10^3$ mg/m²/musim, sedangkan rezim kering memiliki total fluks gas CH₄ sebesar $11.80 \pm 6.72 \times 10^3$ mg/m²/musim.
2. Hubungan positif terhadap emisi gas CH₄ dimiliki oleh pH tanah, kelembapan tanah, daya hantar listrik tanah, dan tinggi muka air.

Sementara itu, hubungan negatif terhadap emisi gas CH₄ dimiliki oleh suhu tanah dan potensial redoks tanah.

3. Parameter lingkungan mikro yang paling kuat hubungan dan besar pengaruhnya terhadap emisi gas gas CH₄ adalah kelembapan tanah. Hal ini ditandai dengan nilai rs dan nilai R²-nya merupakan yang terbesar. Nilai rs rata-rata dari hasil perhitungan adalah 0.51, sementara nilai R² rata-rata dari hasil perhitungan adalah 0.28

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani M. 2014. Inventarisasi emisi gas rumah kaca sektor pertanian dan opsi mitigasinya dengan pendekatan *Marginal Abatement Cost* [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Arif C. 2013. Optimizing water management in system of rice intensification paddy fields by field monitoring technology [tesis]. Tokyo (JP): The University of Tokyo.
- Arif C, Setiawan BI, Widodo S, Rudiyanto, Hasanah NAI, Mizoguchi M. 2015. Pengembangan model jaringan syaraf tiruan untuk menduga emisi gas rumah kaca dari lahan sawah

- dengan berbagai rejim air. *Jurnal Irigasi*. 10 (1): 1-10.
- Arif C, Setiawan BI, Widodo S, Rudiyanto, Hasanah NAI, Nurfaifah, Ega O, Masaru M. 2014. Pengembangan model jaringan syaraf tiruan untuk menduga Emisi gas metana dari padi sawah. *Jurnal Ilmu Komputer: Agri Informatika*. 3 (2): 65-73. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Barlett KB, Crill PM, Sebacher DI, Harris RC, Wilson JO, Wilson JM, Melack JM. 1988. Methane flux from the Central Amazon flood plain. *Journal of Geophysic*. 93: 1571-1578.
- [BLP] Badan Litbang Pertanian. 2011. *Teknologi Mitigasi Gas Rumah Kaca dari Lahan Sawah*. Jakarta (ID): Sinar Tani.
- Canadell JG, Corinne L, Michael R, Christopher B, Erik T, Philippe C, Thomas JC, Nathan PG, Houghton RA, Gregg M. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Journal PNAS*. 104 (47).
- Holzappel-Pischorn, Conrad AA, Seiler W. 1986. Effect of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Journal of Plant and Soil*. 92: 223-233.
- [IAEA] International Atomic Energy Agency. 1993. *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agriculture*. Vienna(AUT): IAEA
- Ifansyah H. 2011. Korelasi antara pH, Eh, dan EC dengan dinamika nitrogen di tanah sawah pasang surut. *Jurnal Agroscientiae*. 18 (3): 116-121.
- [IPCC] *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Li C, Florking S, Xiao X, Moore B, Boles S, Qiu J, Huang Y, Sallas W, Sass R. 2005. *Modelling impact of farming management alternatives on CO₂, CH₄, and N₂O emission: a case study for water management of rice agriculture in China*. *Journal of Global Biogeochemical Cycles*. 19 (3).
- Lintangrino MC, Boedisantoso R. 2016. Inventarisasi emisi gas rumah kaca pada sektor pertanian dan peternakan di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik*. 5(2): D53-D57.
- Li Y, Barker R. 2004. Increasing water productivity for paddy irrigation in China. *Paddy and Water Environment*. 2: 187-193.
- Mudiyarso D, Husin YA. 1994. *Modelling and measuring soil organic matter dynamics and greenhouse gas emissions after forest conversion*. *Report of Workshop*. Bogor (ID). ASB Indonesia Report 1.
- Munarso DT. 2016. Pengembangan model jaringan syaraf tiruan untuk menduga fluks gas metana (CH₄) dari lahan sawah [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Neue HU. 1993. Methane emission from rice fields: wetland rice fields make a major contribution to global warming. *BioScience*. 43 (7): 466-473. New York (US): John Wiley & Sons.
- Nishimura S, Sawamoto T, Akiyama H, Sudo S, Yagi K. 2004. Methane and nitrous oxide emissions from a paddy field with Japanese conventional water management and fertilizer application. *Global Biogeochemical Cycles*. 18: 1-10.
- Nugroho S, Akbar S, Vusvitasari R. 2008. Kajian hubungan koefisien korelasi Pearson (r), Spearman- ρ (ρ), Kendall-Tau (τ), Gamma (G), dan Somers (d_{yx}). *Jurnal Gradien*. 4 (2): 372-381. Bengkulu (ID): Universitas Bengkulu.

- Puspitaningdyah RA. 2012. Analisis korelasi statistik antara populasi jumlah penduduk dan pengguna internet negara-negara di dunia. *Jurnal Ekonomi*. 318: 41-48. Jakarta (ID): Universitas Islam As-Syafi'iyah.
- Purwanta W. 2009. Penghitungan emisi gas rumah kaca dari sektor sampah perkotaan di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 10 (1): 1-8. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Rudd JWN, Taylor CD. 1980. Methane cycling in aquatic environments. *Adv. Aq. Microbial*. 2: 77-150.
- Setiajie S, Wardana IP. 2008. Gagasan dan implementasi System of Rice Intensification (SRI) dalam kegiatan Budidaya Padi Ekologis (BPE). *Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian*. 6 (1) : 75-99.
- Setyanto P, AbubakarR. 2005. Methane emission from paddy fields as influenced by different water regimes in Central Java. *Indonesian Journal of Agricultural Science*. 6: 1-9.
- Setyanto P, Kartikawati R. 2008. Sistem pengelolaan tanaman padi rendah emisi gas metan. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 27 (3): 154-163.
- Setyanto P, Makarim AK, Fagi AM, Wassman R, Buendia LV. 2000. Crop management affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java (Indonesia). *Nutr Cycl Agroecosys*. 58: 85-93.
- Setyanto P. 2004. *Mitigasi gas metan dari lahan sawah, Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Bogor (ID) : Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Stern N. 2006. *The Stern Review on Economics of Climate Change* [internet]: Diunduh pada 3 Maret 2017). <http://www.sternreview.org.uk>.
- Sugiyono. 2004. *Metode Penelitian Bisnis*: Bandung (ID): Penerbit CV. Alfabeta.
- Sujono J. 2011. Koefisien tanaman padi sawah pada sistem irigasi hemat air. *Jurnal Agri Technology*. 31 (4): 344-351.
- Supranto J. 2002. *Statistik Teori dan Aplikasi*. Jakarta (ID): Erlangga.
- Syifa L. 2009. Pendeteksian heteroskedastisitas dengan pengujian korelasi rank Spearman dan tindakan perbaikannya [skripsi]. Semarang (ID): Universitas Negeri Semarang.
- Wirahardjaka. 2004. Emisi gas metana dari beberapa varietas padi pada tanah sawah tadah hujan *vertic endoaquepts*. *Jurnal Sains Tanah*. 4 (1): 21-25.
- Yagi K, Minami K. 1998. Methane emission from paddy fields as affected by soil properties and its implication to the global estimation. Dalam *IRRI-UNPD Final Workshop*. Beijing & Hangzhou.
- Yulianto AB. 2008. Pendugaan gas rumah kaca dari lahan padi gambut serta analisis serapan karbon oleh tanaman [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

